

mal agite désespérément ses petites pattes pendant plus longtemps.

Il y a un plan d'organisation commun entre le système nerveux des vertébrés et des invertébrés, affirmait Geoffroy Saint-Hilaire. Cuvier rejetait péremptoirement ces vaticinations. Comme futur ministre de l'Intérieur, Cuvier avait peut-être déjà tendance à faire la police ; ses interdits, en tout cas, étaient écoutés.

La découverte des gènes de développement, identiques chez les invertébrés et chez les vertébrés, a donné raison à Saint-Hilaire. Cuvier, tout puissant qu'il était, ne pouvait étendre son pouvoir à l'intérieur du corps. Mais Claude Bernard résiste obstinément à ce qu'il pense une perversion, car il ne pouvait établir la preuve expérimentale de cette évolution. On ne le peut toujours pas, et on ne le pourra sans doute jamais. Toutefois, nous savons pourquoi nous en sommes incapables.

Il n'empêche : notre philosophie scientifique est le positivisme, et nous sommes troublés par l'imprévisibilité de l'évolution. Si l'on repassait le film de l'évolution à partir du début, on aurait probablement d'autres formes animales, d'autres formes végétales. La biologie nous permet seulement de comprendre les règles universelles qui élaborent l'imprédictible.

L'ÉVOLUTION DU SYSTÈME NERVEUX

Revenons à nos deux règnes : le «système nerveux» des plantes, c'est la chlorophylle. Les animaux en sont dépourvus : ce sont des prédateurs qui se déplacent pour trouver leur nourriture. Tout ce qui va dans le sens du mouvement, va dans le sens du développement du système nerveux.

Bien entendu, ce système nerveux se perfectionne. Dans le système nerveux des mouches, il y a des ganglions, présents dans chaque métamère. Le ganglion a un gros désavantage : quand la taille du système nerveux augmente, la taille de la boule (le ganglion) croît, et la boule devient vite encombrante. De surcroît, le centre de la boule doit être irrigué. Le système ganglionnaire est le handicap des invertébrés.

Les vertébrés ont inventé une géométrie planaire plus adéquate. Le système nerveux des vertébrés est un plan situé à la surface de l'embryon et qui s'invagine en un tube nerveux s'étendant de la moelle épinière au cortex. Vous pouvez plisser un plan et, ainsi, mettre une surface de plus en plus grande dans un volume restreint. De ce fait, vous augmentez la surface du système : le pli est une superbe invention de l'évolution, apparue avec les ver-

tébrés. Le cortex d'*Homo sapiens* a trois millimètres d'épaisseur et deux mètres carrés de surface. Chez la souris, l'épaisseur est de deux millimètres ; la différence est mince. La circonvolution cérébrale, c'est le pli, la façon de mettre de plus en plus de surface dans une boîte de taille limitée.

La surface totale n'est pas le seul paramètre évolutif. Chaque modalité sensorielle et cognitive accapare une place proportionnelle à son importance pour l'individu. Des fonctions nouvelles s'accompagnent d'un ancrage cérébral. Chez un mammifère très primitif, l'ornithorynque, le cerveau est essentiellement consacré au sensori-moteur. Les systèmes nerveux plus évolués ont complexifié l'arc réflexe : la montée au cerveau du signal permet de réfléchir avant d'agir. Et toujours pour bouger, récupérer de la nourriture, fuir un prédateur, se rapprocher de l'objet ou de l'individu désiré. À mesure que les gènes de développement responsables de la génération de ces neurones s'expriment plus longtemps, l'aire des surfaces spécialisées augmente. Au cours de l'évolution des mammifères, on note l'accroissement des zones de l'olfaction, de l'audition, de la vision, et les aires dites associatives, cognitives, qui permettent, par exemple, de se souvenir, de réfléchir avant d'agir.

Les aires du langage, qui sont apparues en dernier chez *Homo sapiens*, accroissent infiniment sa capacité d'interaction avec le monde et donc les possibilités d'acquisition. Ce qui est transmissible génétiquement d'homme à homme, c'est la possibilité accrue d'acquiescer. Une autre forme de mémoire est culturelle : elle survit à la mort de l'homme ou de la civilisation. Le langage nous a conféré un avantage déterminant pour la transmission de la culture. Le langage a sorti l'homme de la nature. La nature de l'homme, c'est de l'avoir surpassée.

CE SONT LES CORPS QUI PENSENT

On a travaillé sur la pensée avant de connaître les détails de l'organisation cérébrale. Philosophes, anthropologues, sociologues, psychanalystes ont travaillé sur les catégories de la pensée dans leur domaine, dans leur champ de savoir, tous aussi respectables que la biologie.

Qu'apporte la biologie ? Le biologiste examine les conditions biologiques nécessaires à telle ou telle forme de pensée. Pour le biologiste, la pensée est une adaptation au milieu. La pensée n'est pas déposée quelque part, elle est le rapport entre le corps vivant et son environnement.

Existe-t-il une pensée animale ? Le calamar pense-t-il ? Le calamar est un organisme tout à fait étonnant. Lorsqu'il rencontre une dame calamar, il rosit. Il trahit son émotion. Quand un calamar rencontre un prédateur, il lui crache de l'encre à la figure. Il fuit à toute vitesse, il se cache. Je doute cependant que le calamar ait conscience qu'il pense. Sa pensée est instinctive, elle est adaptée – les calmars qui en sont dépourvus meurent –, elle n'est pas réfléchie.

Au cours de l'évolution, d'autres formes de pensée apparaissent. Chez l'homme, il y a une pensée de ce type réflexe, bien sûr, mais en même temps, une pensée autre est liée à l'adaptation de l'individu ; des stratégies de développement lentes permettent que l'adaptation ne soit pas au niveau de l'espèce, au niveau de la formation de la sélection de clones, mais au niveau de l'individuation.

Changez de milieu un animal qui se reproduit très vite, par exemple un petit ver ou une petite mouche : presque tous les vers, la quasi-totalité des mouches vont périr, sauf quelques-uns qui sont génétiquement adaptés au nouveau milieu, et ceux-là vont se reproduire et envahir le biotope, par sélection clonale. Il n'y a pas d'individu au sens où, nous, nous parlons de l'individu. Il y a un tout petit peu d'individuation chez les invertébrés, mais, néanmoins, l'adaptation se fait par sélection de clones.

Au cours du développement, l'individu homme s'adapte parce que le temps de son développement cérébral est prolongé à l'infini. L'adaptation se fait par individuation, et c'est cela la pensée distincte. Nous sommes des individus sociaux extrêmes, puisque tout nous pousse à l'individuation, en particulier nos rapports sociaux. *Sapiens sapiens* est une forme extrême du processus d'individuation.

Pouvons-nous extrapoler et concevoir un extrême au-delà de cet extrême ? Un *Sapiens sapiens sapiens sapiens* je ne sais combien de fois ? Question intéressante, mais comment y répondre ? Je place *Homo sapiens* au sommet de l'échelle animale, à cause de l'invention du langage. Je ne crois pas, je ne pense pas (c'est une croyance et non un fait de science) que la sélection naturelle puisse avoir encore des effets sur l'évolution d'*Homo sapiens*. Imaginons que la Terre devienne plus chaude ou plus froide à cause des cycles climatiques ou de l'effet de serre. Il me semble que l'homme s'adaptera par ses inventions technologiques et pas par des mutations favorables. Le vêtement, l'air conditionné ou la fabrication de machines particulières seront une réponse beaucoup plus rapide et plus efficace à des défis de ce genre que la mort de 99

pour cent de l'humanité et la sélection génétique de un pour cent ou de un pour mille qui serait mieux adapté aux nouvelles conditions.

L'APOPTOSE INATTENDUE

Pour construire un organisme, on pense à une perpétuelle incrémentation, en termes d'ajouts successifs. Il n'en est pas ainsi. Le phénomène de mort de cellules est essentiel, en particulier dans la construction du système nerveux. Au cours des phases de développement, nous perdons, selon les régions du système nerveux, entre 20 et 80 pour cent des cellules. Le processus est l'apoptose : la mort cellulaire est une différenciation comme une autre, sauf qu'elle entraîne la mort de la cellule dans laquelle ces gènes de mort cellulaire sont, tout à coup, exprimés.

Chez un invertébré, les cellules sont programmées pour mourir. Chez un vertébré, elles mettent en route les programmes de mort en réponse à des signaux extérieurs. Les premiers gènes d'apoptose ont été découverts chez le nématode, un petit ver de 1 000 cellules, dont environ 300 neurones. On sait précisément quand une cellule va disparaître : tel neurone va mourir à tel moment, tel autre à tel moment, et cette fatalité est immuable. L'inattendu est qu'il n'y ait aucun inattendu.

Les biologistes ont identifié des gènes universels de l'apoptose, identiques chez les vertébrés et les invertébrés. Un d'entre eux est très intéressant, il s'appelle *bcl-2* chez les vertébrés et *ced-9* chez le nématode. Vous pouvez remplacer le gène *ced-9* du nématode par le gène *bcl-2* de l'homme sans aucun effet apparent. En revanche, la surexpression de *bcl-2* chez l'homme provoque des tumeurs, en particulier des tumeurs du système immunitaire.

Un organisme, on retrouve ici Claude Bernard, est un perpétuel contrôle de la croissance et de la mort des cellules. Une prolifération cellulaire est un dérèglement néfaste : des leucémies résultent d'hyperproliférations de cellules, d'autres sont dues au fait que certaines cellules «oublient» de mourir. Chez l'homme et le nématode, ce sont les mêmes gènes déviants qui oblitérent la mort cellulaire et mettent en péril la survie de l'individu. Cette identification ouvre des voies thérapeutiques : si l'on observe une pathologie intéressante chez le ver ou chez la mouche, on peut trouver les gènes humains correspondants qui sont responsables du même type de maladie.

D'où l'intérêt, immense et partiellement incompris, de la recherche fonda-



Claude Bernard (1844-1925), dans son laboratoire au Collège de France, en 1889.

mentale... sur le nématode ou d'autres organismes simples. Les malheureux biologistes qui travaillaient sur ces drosophiles ou sur ces vers – et dont certains se moquaient –, ont apporté beaucoup plus à la médecine que les grands programmes de recherche médicale. Le remède des maladies humaines passera souvent par l'étude du nématode ou de la mouche ou d'autres organisme simples comme la levure ou la bactérie, boîtes à outils du biologiste.

La médecine n'est pas assez à l'écoute de la biologie : nous vivons un lyssenkisme rampant. Le rythme de la science est par trop soumis à l'urgence des impératifs de santé, à une contrainte économique mal orientée.

Rappelons-nous Lyssenko. Le pouvoir soviétique accusait les généticiens de trop s'occuper des poils des mouches et pas assez des rendements du blé. Les généticiens qui n'acceptaient pas ce reproche étaient remis sur la bonne voie, vers la Sibérie. L'agriculture soviétique a payé cette façon de travailler dans l'urgence. Elle en pâtit encore.

N'est-il pas terriblement injuste d'accuser les scientifiques d'ignorer la demande sociale ? Qui ne voudrait découvrir le traitement du cancer ? Mais comment les scientifiques pourraient-ils satisfaire la demande technologique, ignorer les leçons de leur discipline ? Le chemin de la découverte n'est pas balisé, les grands programmes sont souvent une illusion volontariste permettant à des scientifiques de médiocre envergure d'assouvir leur soif de pouvoir. Il faut des programmes, bien entendu, mais la découverte scientifique n'est pas programmable, et son efficacité ne passe pas par un asservissement à la demande.

L'INATTENDU DANGEREUX

Comment, dans sa pratique, le scientifique traite-t-il l'inattendu ? Il est des inattendus qu'il hésite à divulguer dans la mesure où, incompréhensibles, ils sont peu crédibles. Vous me le demandez ! Oui cela est arrivé dans mon laboratoire. Nous avons observé, il y a bientôt dix ans, qu'une protéine traversait les membranes cellulaires. Cette protéine, qui est un facteur de transcription, aurait dû rester dans le noyau. Je ne sais pas encore si cette particularité a un sens biologique ou physiologique, car nous n'avons pas encore mis le phénomène en évidence dans l'animal entier, seulement en culture. Mais, du coup, nous avons identifié certaines propriétés moléculaires nécessaires à la traversée d'une membrane, qualités importantes pour envoyer un principe actif à l'intérieur d'une cellule : nous avons fabriqué un outil utile. Cependant notre sentiment est que l'essentiel nous échappe encore : aussi ne puis-je me prononcer sur l'importance de l'observation.

La découverte naît de l'inattendu interprété. Si vous testez une hypothèse et que le phénomène reproduit exactement ce que vous supposiez, les résultats ont sans doute peu d'intérêt : ils étaient dans les prémisses. Quand l'inattendu arrive, vous pouvez le glisser sous le tapis et oublier ce qui ne colle pas, en le baptisant artefact ; 999 fois sur 1000, c'est un artefact. Une fois sur 1 000, il faut prendre le risque d'y consacrer du temps. C'est dangereux : vous y passez du temps, de l'argent, vous engagez des étudiants, vous risquez des carrières. Toutefois, si à chaque fois que vous observez quelque chose qui ne colle pas, vous l'oubliez, votre recherche ronronnera.